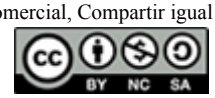
Cuando la representación no textual se convierte en objeto de análisis en clase para aprender Biología. Artículo de Susana Beatriz Castronuovo y Laura Cecilia Acevedo. Praxis educativa, Vol. 29, N°3 septiembre - diciembre 2025. E-ISSN 2313-934X. pp.1-20. https://dx.doi.org/10.19137/praxiseducativa-2025-290316

Esta obra se publica bajo Licencia Creative Commons 4.0 Internacional
CC BY- NC- SA Atribución, No Comercial, Compartir igual



PRAXIS educativa
Universidad Nacional de La Pampa
Facultad de Ciencias Humanas
Instituto de Ciencias de la Educación para la investigación interdisciplinaria

ISSN 2313-934X
SANTA ROSA, LA PAMPA, ARGENTINA
Correo electrónico: iceii@humanas.unlpam.edu.ar
Disponible en https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/praxis

ARTÍCULOS

Cuando la representación no textual se convierte en objeto de análisis en clase para aprender Biología

When non-textual representation becomes an object of analysis in the classroom for learning Biology

Quando a representação não textual se torna um objeto de análise na sala de aula para o aprendizado de Biologia

---

Susana Beatriz Castronuovo
Universidad de Buenos Aires, Argentina
susanacastronuovo@gmail.com
ORCID 0000-0002-6202-6447

Laura Cecilia Acevedo
Universidad de Buenos Aires, Argentina
lceciliaacevedo@gmail.com
ORCID 0000-0002-4973-0202

Recibido: 2025-02-28 | **Revisado:** 2025-06-02 | **Aceptado**: 2025-06-20

Resumen
Reflexionamos sobre la potencia de recuperar el trabajo representacional que los y las estudiantes de un profesorado de Biología realizan en clase para aprender sobre síntesis de proteínas. Con el propósito de analizar las relaciones entre dos sistemas externos de representación —pictórico y oral— que propician avances en el conocimiento cuando las representaciones son tomadas como objeto de análisis en la clase, distinguimos intervenciones docentes orientadas a que alumnos y alumnas: identifiquen cómo una disposición anatómica colabora con interpretar lo funcional; revisen marcas incluidas y las vinculen con lo funcional; repiensen ideas discutidas que cuesta asimilar; retomen conceptos ya estudiados que generan dudas en un nuevo contexto; y evidencien aquello que no se logró plasmar sobre el papel. Sostenemos que, con estas intervenciones, se abordan relaciones entre lo figurativo y lo conceptual, que contribuyen al aprendizaje del contenido específico y al uso epistémico de las herramientas representacionales en el área.
Palabras clave: representaciones gráficas, oralidad, representación externa, enseñanza de las ciencias, biología.

Summary
We reflect on the power of recovering the representational work that students of a Biology teacher training course carry out in class in order to learn about protein synthesis. With the aim of analysing the relationships between two external systems of representation –pictorial and oral– that lead to advances in knowledge when representations are taken as the object of analysis in class, we distinguish teaching interventions aimed at getting students to: identify how an anatomical arrangement collaborates with interpreting the functional; review marks included and link them to the functional; rethink ideas discussed that are difficult to assimilate; take up concepts already studied that generate doubts in a new context; and show what they did not manage to capture on paper. We maintain that these interventions address relationships between the figurative and the conceptual that contribute to the learning of specific content and the epistemic use of representational tools in the area.
Keywords: graphical representations, orality, external representation, science education, biology.

Resumo
Refletimos sobre o poder de recuperar o trabalho de representação que os alunos de um curso de formação de professores de Biologia realizam em sala de aula para aprender sobre a síntese de proteínas. Com o objetivo de analisar as relações entre dois sistemas externos de representação –o pictórico e o oral– que levam a avanços no conhecimento quando as representações são tomadas como objeto de análise em sala de aula, distinguimos intervenções didáticas que visam a fazer com que os alunos: identifiquem como um arranjo anatômico colabora com a interpretação do funcional; revisem marcas incluídas e as vinculem ao funcional; repensem ideias discutidas de difícil assimilação; retomem conceitos já estudados que geram dúvidas em um novo contexto; e mostrem o que não conseguiram capturar no papel. Defendemos que essas intervenções abordam relações entre o figurativo e o conceitual que contribuem para a aprendizagem de conteúdos específicos e para o uso epistêmico de ferramentas de representação na área.
Palavras-chave: representações gráficas, oralidade, representação externa, educação científica, biologia.

Introducción

Reconocida la función epistémica que la modelización y el trabajo con lo representacional posee en los procesos de elaboración de conocimiento, nos proponemos reflexionar sobre intervenciones docentes que —al considerar la relación entre *lo figurativo* y *lo conceptual*— favorecen la movilidad de las ideas de las y los estudiantes cuando elaboran representaciones no textuales para aprender sobre síntesis de proteínas en un profesorado de la provincia de Buenos Aires (Castronuovo, 2021).[1] Nos focalizamos en el trabajo que se realiza en clase cuando las producciones de las y los futuros docentes son retomadas en la oralidad y se convierten en objeto de análisis.

Nos apoyamos en una extensa revisión de antecedentes que reconocen el valor de incluir la modelización y las representaciones no textuales en clase. Siguiendo a Giere (2004), entendemos a la modelización como una actividad intelectual ─tanto para elaborar como reconstruir modelos producidos por otros que permiten explicar fenómenos estudiados y abordar nuevos—; y a la representación como el intento de externalización de dichos modelos. En nuestra investigación, nos propusimos que las y los estudiantes modelicen y representen gráficamente un fenómeno ─la producción de una enzima y cómo actúa en la degradación de los nutrientes─, movilizando conocimientos ya aprendidos sobre el tema, para luego estudiar el modelo aceptado y consensuado por la ciencia ─síntesis de proteínas—.

En la didáctica específica, se reconoce la modelización como una práctica científica-escolar y se valora su inclusión en las propuestas de enseñanza (Gilbert y Osborne,1980; Adúriz Bravo e Izquierdo, 2009; Díaz Guevara *et al.*, 2019; Lozano *et al.*, 2020). Diferentes investigaciones estudian la incidencia de las representaciones gráficas en el aprendizaje: las incluidas en los libros de texto en la compresión de contenidos (Moya e Idogaya, 2021); la influencia de las representaciones múltiples en la competencia argumentativa de las y los estudiantes (Mazo Cano y Bonilla Pérez, 2021); la relación entre promoción del desarrollo de actividades cognitivas y la evolución de las ideas de las y los alumnos (Justi, 2006; Gómez Galindo, 2013; Acher, 2014); la elaboración de modelos y la estimulación de destrezas (Occeli y Pomar, 2019). Otros estudios entienden que el pedido de modelización les permite explicitar sus ideas previas (Justi, 2006; Ageitos Prego y Puig, 2016), mientras que algunos enfatizan que la mejora de la comprensión se sitúa en el momento de la evaluación cuando, además de representar ─replicando modelos convencionales propios de la disciplina─, se les pide una explicación escrita (Flores-Camacho *et al.*, 2020).

En nuestra investigación, la propuesta de elaborar representaciones por parte de alumnas y alumnos persigue brindar posibilidades de comprender y explicar el fenómeno estudiado, vinculando el material genético con la fisiología sistémica. Este pedido se formula después de leer un caso de estudio ─sobre la intolerancia a la lactosa─ e informaciones adicionales sobre los enterocitos y el accionar de la lactasa; y antes de leer un texto expositivo propio del área y del nivel de escolaridad, y recibir explicaciones por parte de la docente. De esta manera, el pedido de representar se distancia de aquellas investigaciones que las proponen para indagar ideas previas, o para evaluar lo ya aprendido, frecuentemente al inicio y al cierre de una propuesta de enseñanza, respectivamente.

Sostenemos que las intervenciones docentes durante y después de la elaboración de representaciones son cruciales porque al colaborar con la interpretación de trazos y marcas plasmados en el papel —*lo figurativo*— se contribuye a la movilización de ideas necesarias

[1] Los análisis presentados se enmarcan en una tesis de maestría de la primera autora —finalizada y defendida en 2021— en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales de Universidad del Comahue. Dirigida por Dra. Cecilia Acevedo y Dra. Ana de Micheli.

para el anclaje de conocimientos nuevos y se favorece la comprensión de las ideas científicas expresadas en textos expositivos y en simulaciones del área —*lo conceptual*—.

Nos interesa compartir el valor epistémico que involucra volver sobre lo representado y expandirlo en la oralidad, dado que las representaciones externas no son copias de las representaciones internas. Distinguimos intervenciones docentes que se orientan a que las y los estudiantes: identifiquen cómo una disposición anatómica colabora con interpretar lo funcional; revisen marcas incluidas y las vinculen con la fisiología; repiensen ideas discutidas que cuesta asimilar; retomen conceptos ya estudiados que generan dudas en un nuevo contexto; y evidencien aquello que no se logró plasmar sobre el papel.

La elaboración de representaciones modélicas resulta una tarea intelectualmente exigente para alumnas y alumnos; requiere orientación docente. Consideramos también que tomarlas como objeto de reflexión con el grupo clase favorece ser reconocidas como portadoras de significado ─nada evidente para muchos─, y los desafía a analizar la relación entre las marcas que se trazan sobre el papel y los conceptos; y que, según en el momento de la secuencia didáctica en que se las proponga, contribuyen a instalar un propósito lector redundando en una interacción más fructífera con los textos.

Nos dedicamos a repensar la enseñanza del contenido "síntesis de proteínas" que se inicia en el nivel molecular de organización de la materia y es funcional en otro superior. Este proceso se conforma por dos etapas: transcripción y traducción. En la primera, desarrollada en el núcleo, la información se transcribe de ADN al ARNm; y, en la segunda, desplegada en los ribosomas, ese ARNm se traduce a proteínas. La síntesis es un contenido central en la formación de profesores de Biología, en cuanto permite comprender la relación entre la información genética y la fisiología sistémica; y porque, al reconocerse como un proceso similar en todos los seres vivos, puede colaborar con la interpretación de los procesos evolutivos. Si bien a los futuros profesores se les enseña este contenido, habitualmente se evita explicitar la relación que existe entre los niveles de organización involucrados en el proceso, quedando su reposición a cargo del que aprende. Para ilustrar esto último, compartimos preocupaciones que manifiestan algunas y algunos estudiantes ─que ya han estudiado este contenido en su formación─ durante las entrevistas realizadas previo al diseño de la secuencia didáctica estudiada: "Sabemos cómo [una proteína] se sintetiza en una célula, pero ¿cómo llego a saber dónde actúa? ¿se sintetiza en el mismo músculo? ¿en qué célula se fabrica para que llegue ahí? Eso es parte del vacío que tenemos" (Valentina, comunicación personal, 15-05-2018); "Sabemos que se fabrica en una célula general del cuerpo, pero no en qué parte del cuerpo se necesita. No sabemos si cuando se produce la proteína va por la sangre…" (Sebastian, comunicación personal, 15-05-2018).

El corpus de investigaciones consultado nos aportó características propias del contenido para considerar en su enseñanza. Se trata de un concepto abstracto y complejo con el que se modeliza un proceso a nivel subcelular Roni y Carlino (2018). Van Mil *et al.* (2013) consideran que, para comprender la complejidad que encierra la síntesis, primero es necesario entender que las proteínas se sintetizan cuando un gen se expresa y que ese gen solo lo hace cuando otros lo regulan. Que la expresión de los genes incluye dos etapas, y que las proteínas sintetizadas participan de procesos celulares, que finalmente repercuten en la fisiología sistémica. Por su parte, Southard *et al.* (2016), en este mismo sentido, señalan que es necesario diseñar una sucesión organizada, dinámica y espacial de los eventos para favorecer y conducir a las y los estudiantes hacia la comprensión general del fenómeno. Se suma la necesidad de explicitar y vincular la participación de los distintos niveles de organización, tal como ha sido subrayado por diferentes autores (Duncan y Reiser, 2007; van Mil *et al.*, 2013). Concebir las etapas de transcripción y traducción requiere no solo de conocimientos aprendidos anteriormente, sino que el que aprende esté expuesto y dispuesto a imaginar cómo la información contenida en los genes se expresa en proteínas.

Según van Mil *et al.* (2013), a pesar de que en escuelas de nivel secundario de muchos países se ofrecen explicaciones a nivel molecular, esto no significa que alumnas y alumnos puedan conectar ese proceso molecular con fenómenos desarrollados en niveles superiores de organización. En nuestra investigación, nos preguntamos: ¿qué puede significar para los y las estudiantes que los genes se expresen en proteínas?, ¿cómo es posible entender que "algo" se expresa a través de "otro"?, ¿cómo se interpreta que el fenotipo es la manifestación del genotipo? (Castronuovo, 2021). Las proteínas son producto resultante de la expresión de los genes, y están condicionadas por muchos factores ajenos a la propia célula que le dio origen. Partimos del supuesto de que cuando estas dudas no pueden ser expresadas en el aula como interrogantes comunes por la mayoría de alumnos y alumnas, se convierten en pequeños obturadores de la comprensión del contenido.

La enseñanza descriptiva y declarativa apela a la observación de imágenes convencionales propias de los libros de texto sin ofrecer posibilidad a las y los estudiantes que las interpreten críticamente. En nuestra investigación, interpelamos esa forma de enseñanza, priorizando condiciones didácticas que favorecen la movilización de ideas e incluyen la elaboración de representaciones modélicas no textuales para explicar el fenómeno estudiado.

Presentamos, a continuación, consideraciones teóricas y metodológicas de cómo alumnas y alumnos arribaron a la elaboración de representaciones, la descripción y análisis de las intervenciones de la docente y una reflexión final.

Consideraciones teóricas

La comunicación gráfica ha estado presente de una forma u otra a lo largo de toda la historia humana y ha sido fundamental para la construcción de las Ciencias Naturales. El conocimiento científico está asociado a la elaboración y reelaboración de modelos que permiten interpretar, predecir y explicar fenómenos naturales. De la misma forma, es imposible pensar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias al margen de este recurso epistémico y comunicativo que complementa y amplía la verbalidad. Dibujar implica una tarea desafiante para las y los estudiantes, que puede colaborar con la formación de representaciones mentales de conceptos claves.

Concebimos a las representaciones como un sistema simbólico de representación. Las representaciones modélicas que se usan en ciencia, al igual que otras, son consideradas externas cuando se vuelven objetos independientes de su creador, requieren de un soporte material, permanecen en el tiempo, y se despliegan en el espacio. Se diferencian de otras, como la escritura, por la vinculación que existe entre sus marcas en el espacio físico en el cual se despliegan (Martí, 2003), y por contar con reglas propias (Lombardi *et al.*, 2009). La continuidad, la linealidad, la proximidad, el tamaño o la inclinación de los trazos son propiedades espaciales de cada sistema de representación. Esto indica que, aunque constituyen objetos materiales procesables, pueden ofrecer dificultades para su interpretación; lejos de ser traducción directa de la realidad, son modelos de esa realidad según determinadas restricciones.

Interpretamos que los sistemas externos de representación desempeñan un papel central como mediadores del funcionamiento cognitivo, participan en el desarrollo de los sujetos y denotan dimensiones intencional y comunicativa puesto que permanecen en el tiempo y por lo tanto pueden ser reformulados (Salsa *et al.*, 2010; Martí, 2012).

En situación de aprendizaje, cuando alumnas y alumnos elaboran sus representaciones, combinan marcas sobre el papel relacionando el mundo por representar con las reglas de la representación (Lombardi *et al.*, 2009). Se promueve, así, la realización de representaciones pictóricas, estimulando una tarea cognitiva que promueve la producción de

significaciones. Y, si bien los modos en que se relacionan las marcas de una representación externa no textual o pictórica pueden ser finitos, la producción de significado no. Estos lineamientos permiten deducir que los dibujos ofrecen amplias posibilidades de expresar las ideas provisorias que las y los estudiantes van construyendo.

Además, consideramos que estas representaciones pictóricas que las alumnas y los alumnos elaboran son modélicas porque intentan explicar ―en este caso― un proceso que aún no estudiaron, pero que es objeto de enseñanza ―síntesis de proteínas―, entendiendo por modélico aquello que media entre un sistema real y un cuerpo de ideas (Gilbert y Osborne, 1980; Passmore *et al.*, 2014), que refiere a los conocimientos previos, disponibles, que las y los estudiantes movilizan en el momento de representar.[2] La elaboración de representaciones en la secuencia didáctica diseñada para esta investigación se propone antes de estudiar lo que "dice" la ciencia.

La vinculación entre el modelo y la realidad está mediada por enunciados o hipótesis teóricas que pueden ser verdaderas o falsas, pero afirman cierto tipo de relación entre ambos (Adúriz-Bravo y Ariza, 2014). Giere (2004) sostiene que la construcción de conocimientos científicos está condicionada por la elaboración de modelos, actividad compleja que ocupa un lugar central en la organización de las tareas cognitivas de los científicos y que persigue la interpretación de fenómenos naturales. Compartimos aportes de Vosniadou (2013) cuando sostiene que la elaboración de modelos implica una tarea cognitiva análoga al razonamiento de los científicos. Sus estudios señalan que quienes aprenden mediante el uso de modelos pueden razonar sobre situaciones o fenómenos que desconocían, ayudar a construir explicaciones, experimentar y revisar la teoría, colaborar con la interpretación de nuevas experiencias, actuando como mediadores en la construcción de nuevo conocimiento. Los modelos no son ni simples copias de la realidad externa, ni meras internalizaciones de los artefactos científico-culturales, son concepciones sintéticas que señalan procesos constructivos de asimilación de teorías elaboradas por otros ―en este caso la ciencia—, que suele resultar contraintuitiva a las concepciones de quien está aprendiendo.

En esta investigación, coincidimos con Espinoza *et al.* (2010), Espinoza *et al.* (2012), Luppi *et al.* (2018), Acevedo *et al.* (2021), Castronuovo (2021), Castronuovo y Acevedo (2022) cuando sostienen que la exigencia de elaborar una representación no textual implica externalizar ideas, plasmarlas sobre el papel, tomar decisiones sobre su diseño ―qué se muestra, con qué símbolos, qué significado se les otorga, qué no se consigue mostrar―, exponer una explicación ―a veces oralmente, otras con escrituras que las acompañen―, revisar y reformular, colaborando con la reorganización de ideas. Interpretamos que su inclusión propone un desafío para las y los estudiantes por la posibilidad de su desarrollo epistémico, y por colaborar con la formación en su futuro rol como docente del área.

Orientaciones metodológicas

En la investigación, asumimos un enfoque cualitativo, descriptivo interpretativo que procede por estudio de casos de una propuesta de enseñanza (Artigue, 2002). Procuramos estudiar, comprender, explicar y encontrar mejores condiciones para que las y los estudiantes aprendan en situación de clase, considerando la interacción de las siguientes fases:

Análisis preliminares: revisitamos el contenido a enseñar, su carácter explicativo dentro de la disciplina, relevamos avances históricos y actuales, analizamos su enseñanza habitual, y las ideas que las alumnas y los alumnos suelen movilizar y

[2] Distinguimos el propósito de pedirles a las y los estudiantes elaborar representaciones para explicar un fenómeno que se busca conocer movilizando conocimientos previos de representar para que expliciten lo que se sabe sobre un tema. Este último propósito ha estado muy presente en los pedidos de representaciones en clase y fue relevado en los antecedentes.

advertimos dificultades y obstáculos que inciden en el avance de sus ideas. Diseñamos e implementamos entrevistas clínico-didácticas para acercarnos a las ideas de los alumnos sobre el tema de estudio, y caracterizar su complejidad.

Concepción y análisis *a priori*: elaboramos una secuencia de enseñanza con situaciones didácticas articuladas entre sí a desarrollarse en tres clases de tres horas cada una, correspondiente a la materia Biología y Laboratorio II, en dos cursos de 48 estudiantes. Anticipamos sus posibles interpretaciones y las probables intervenciones docentes. En este artículo, desarrollaremos aquellas en las que las producciones de alumnos y alumnas se convierten en objeto de estudio en clase.

Puesta en aula de la propuesta de enseñanza diseñada: implementamos dos veces la secuencia, en cohortes sucesivas, siendo la primera autora del artículo la docente a cargo de esta. Los grupos constituidos por entre veinte y treinta estudiantes de segundo año de un profesorado de Biología de la provincia de Buenos Aires. Las clases fueron registradas mediante audio y filmaciones.

Análisis *a posteriori:* realizamos lecturas y relecturas sucesivas de las entrevistas clínico-didácticas de los análisis preliminares, registros de las clases y producciones de las y los estudiantes, lo que nos permitió elaborar conceptualizaciones sobre las ideas que ellos y ellas formularon, sus movilidades, la relación de estas ideas con las condiciones didácticas propuestas y las intervenciones docentes. En esta metodología, la validación de la investigación se produce al poner en relación las fases de los *a priori* y los *a posteriori*.

Tabla 1

Esquema simplificado de la secuencia didáctica

Situaciones de enseñanza
Planteo de problema: ¿cómo es posible vincular el material genético con la funcionalidad de los sistemas y cómo se entiende dicha relación?
Lectura de un caso de estudio sobre intolerancia a la lactosa. El texto versa sobre productos lácteos modificados (Vénica *et al.*, 2011) y la producción de la lactasa en el organismo. Se complementa con información adicional sobre cuestiones morfológicas —enterocitos— y la acción enzimática, constituida por selección de fragmentos informativos de distintos tipos de textos (Megías *et al.*, 2017; Tocoian, 2006).
Elaboración de representaciones: las y los estudiantes producen en parejas sus propias representaciones respondiendo a: ¿cómo es posible que se produzca la lactasa? y ¿cómo será su actuación para que los nutrientes de la lactosa puedan ser aprovechados por el organismo?
Análisis en clase de las producciones representacionales: alumnas y alumnos cuentan con fotocopias de todas las representaciones. Se abre un espacio de intercambios orales sobre las dudas o aclaraciones que generan las propias y ajenas.
Lectura de texto expositivo: se lee en clase un fragmento de un manual de Biología general (Sadava *et al.*, 2012), habitualmente utilizado por las y los estudiantes que se inician en el nivel superior, en el que se detalla el proceso de síntesis. Las explicaciones científicas se incluyen luego de que alumnas y alumnos han elaborado sus propios modelos. Las explicaciones a cargo de la docente incorporan imágenes convencionales sobre la transcripción y un video en el que se representa el proceso de

traducción con el propósito de confrontar las ideas de las y los estudiantes con las que la ciencia aporta.
Escritura: las y los estudiantes elaboran escritos cortos cuya consigna es explicar la relación entre el material genético y la fisiología de los sistemas, utilizando como insumo los textos leídos, las representaciones y los aportes de las explicaciones ofrecidas.

Nota: en la tabla, se incluye una breve síntesis de la secuencia didáctica completa.

El camino recorrido para representar

El pedido de elaboración de representación no textual en clase, lejos de proponerse en un vacío, se solicita en un escenario en el que la docente instala una pregunta que se estudiará a lo largo de toda la propuesta de enseñanza: ¿cómo se vincula la información genética con la fisiología del organismo? Se busca movilizar conocimientos sobre estos temas estudiados previamente, y "llegar" al estudio de la síntesis de proteínas ─en tanto explicación que ofrece la ciencia─; no partir de "lo que dice la ciencia" sin anclajes en los conocimientos de las y los estudiantes.

Las discusiones orales en clase, las intervenciones docentes problematizando y poniendo en contradicción las diferentes posturas posibilitan involucrar intelectualmente a alumnas y alumnos, comprometerlos con el estudio de contenido. Las ideas expresadas permiten reconocer centraciones conceptuales (Bovet, 1998) diversas sobre el ADN ─el ADN dice cómo tiene que ser una célula/la fisiología está regulada por el material genético─ y las proteínas ─las enzimas son siempre las que regulan todo/no sé si darle la responsabilidad de la fisiología al ADN o a la síntesis de proteínas─ y adjudican de manera alternada la responsabilidad de la fisiología. La pregunta central remite a qué se debe el funcionamiento fisiológico. Con ello, se busca instalar que lo genético interviene, pero no alcanza para explicarlo; es decir, se requiere seguir estudiando. La intencionalidad es traccionar argumentos hacia lo explicativo, cuestión que no suele suceder cuando el profesor inicia la clase explicitando las etapas del proceso "síntesis de proteínas" ─como objeto sólo vinculado al material genético y desvinculado de la fisiología del organismo—.

En estas condiciones, se aborda el estudio de un caso que permite situar la pregunta planteada en un problema por resolver. Se estudia una proteína específica a partir de una lectura de divulgación (Vénica *et al.*, 2011) sobre la lactosa, su accionar y las implicancias de su ausencia en el organismo. La única referencia en el texto a la síntesis de esta se circunscribe a una frase: "la enzima se encuentra genéticamente controlada", indica también que actúa en vinculación a los enterocitos, y carece de imágenes. Una vez que las y los estudiantes se apropian del problema que da inicio a la secuencia, la docente propone la lectura de un texto expositivo sobre síntesis de proteínas y ofrece las explicaciones correspondientes. Esta organización es una decisión deliberada.

El caso de estudio se lee en clase, se discute el origen de la lactasa y la forma en que actúa. Las intervenciones de la docente orientan a su interpretación, explicita el accionar de la enzima. Surgen algunas explicaciones por parte de alumnas y alumnos que remiten nuevamente al ADN como responsable de su producción, pero sin poder fundamentar sus ideas. Otros dudan de esta responsabilidad, cuestionan a sus compañeros.

La ausencia de consenso acerca de la relación entre el ADN y la fisiología genera un escenario propicio para repensar las ideas que circularon, ofreciendo la posibilidad de plasmarlas en papel. La docente propone elaborar representaciones modélicas no textuales que puedan responder a: ¿cómo es posible que se produzca la lactasa? y ¿cómo será su

actuación para que los nutrientes de la lactosa puedan ser aprovechados por el organismo? Su elaboración obliga a imaginar la respuesta. Nos propusimos que dicha producción intente explicar un proceso biológico y que lo modélico medie entre un sistema real (el caso de estudio propuesto) y el conjunto de ideas que las y los estudiantes aportan (como sistema teórico) dado que, anteriormente, se estudió la fisiología del aparato digestivo, las enzimas y la conformación de la molécula de ADN.

Las alumnas y los alumnos diseñan sus representaciones en parejas a partir de su estado de conocimiento, las discusiones transitadas y los textos leídos. Las inscripciones sobre el papel son consideradas marcas de las que, en algunos casos, se puede inferir su significado, ya sea porque son fácilmente asimilables a un concepto o porque se las puede relacionar con las discusiones examinadas de los registros de clase. En otros casos, esto no es posible; de allí la necesidad de retomar las producciones, convertirlas en objeto de análisis en la clase, ya que los significados se dirimen cuando son las y los estudiantes quienes lo explicitan en la oralidad. De ahí la relevancia del estudio de las intervenciones docentes que promueven esta explicitación y revisión conceptual.

La mayoría de las representaciones elaboradas incluyen marcas sobre el aparato digestivo completo y hacen foco en un órgano ─intestino delgado─, o representan directamente las células ─enterocitos─ presentes en las vellosidades intestinales. Estas marcas no necesariamente permiten asegurar que comprenden *dónde actúa la enzima*. Al precisar *cómo actúa*, la mayoría incluye marcas pictóricas identificando la enzima, el sustrato y sus productos; en cambio, en pocos casos pueden representar *cómo se produce*. Sólo algunos utilizan marcas pictóricas y textuales en las que vinculan el núcleo del enterocito con el ADN. Atribuimos esta combinación de marcas ─pictórica y textual─ a la exigencia que demanda representar algo que recién comienzan a imaginar (Castronuovo y Acevedo, 2022).

La representación como objeto de estudio en clase

Mientras alumnas y alumnos elaboran las representaciones, la docente brinda explicaciones sobre las descripciones anatómicas de los textos, impulsa la inscripción de marcas pictóricas que a las y a los estudiantes les cuesta imaginar, y colabora con aquellas ideas que generan dudas. Un fuerte trabajo didáctico posibilita que estas producciones se conviertan en objeto de reflexión en el grupo clase. La docente pone énfasis en aquellas marcas que pasan desapercibidas por la mayoría de las y los estudiantes. Acentuamos la potencia de volver sobre lo representado, evento que no suele ser objeto de estudio en la mayoría de los antecedentes relevados. Acordamos con una minoría de esas investigaciones (Acher, 2014; Gomez Galindo, 2013) en que representar es entendido como una práctica científica que los docentes toman como referencia para pensar las clases de ciencias, revisan junto a los alumnos lo representado con la intención de encontrar qué modelo aproxima mejor cierto fenómeno y, en esa discusión, afloran los criterios que permiten evaluar fortalezas y debilidades de los modelos seleccionados. En nuestra investigación, analizar lo representado potencia las ideas plasmadas en el papel y otorga nuevas instancias para su reorganización.

El análisis en clase adquiere mayor significatividad cuando la docente detecta que algunas ideas quedaron sin plasmarse, o que en su lectura es posible identificar más de un significado, o que tanto a ella como a otros y otras estudiantes les cuesta inferir las explicaciones representadas. Consideramos que las posibilidades de interpretar las marcas por parte del lector están condicionadas tanto por los conocimientos que se tienen sobre el tema, como por las relaciones para nada evidentes que se entablan entre *lo figurativo* y *lo conceptual*.

Desde este punto de partida, compartir en clase lo representado permite expandirlo, explicitar los significados incluidos, y abordar las relaciones entre las marcas trazadas sobre

el papel y las concepciones que se ponen en juego sobre los procesos involucrados. Además, este intercambio permite que las y los futuros docentes conozcan el uso de las herramientas representacionales en la disciplina, y ofrece una nueva oportunidad de movilizar ideas. Las aclaraciones ofrecidas por las y los estudiantes sobre sus representaciones contribuyen a comprender las explicaciones plasmadas en las representaciones y cómo dichas expansiones pueden favorecer la profundización de conceptos.

Identificar cómo una disposición anatómica involucra la comprensión de lo funcional

En los intercambios producidos con los autores de la representación que se observan en la Figura 1, podemos inferir cómo lo representado se interpone con la posibilidad de comprender lo funcional. La parte superior de esta refiere a un grupo de enterocitos y, por debajo de ellos, otras marcas señalan un corte longitudinal de intestino; inmediatamente después, otras se etiquetan como "capilar que recorre vellosidades". Por debajo, una ampliación de las microvellosidades permite observar marcas que refieren al lugar donde se encuentra la lactasa.

Figura 1
Representación Car y Agus

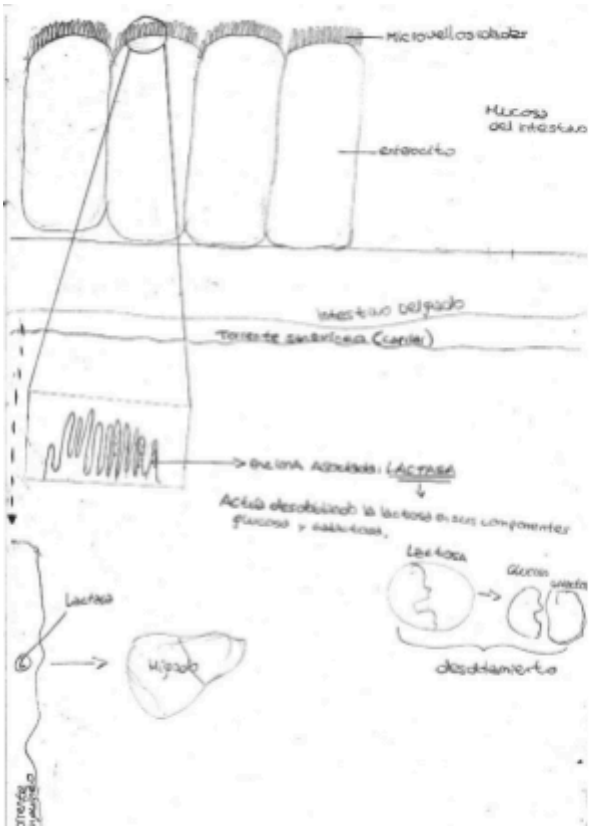


Fig. 1. Se observan marcas que refieren a enterocitos con sus microvellosidades, debajo un corte longitudinal de intestino y más abajo otro corte longitudinal indicado como torrente sanguíneo (capilar).

[Representación Car y Agus]

Ante la representación compartida, se produce el siguiente diálogo:

Profesora: Aquí, se ve un *zoom* de las microvellosidades. Lo que no sabemos es qué de todo lo dibujado es el intestino, ¿o sí sabemos?

Car: Sí está marcado, abajo dice intestino delgado.

Profesora: Y los enterocitos, ¿hacia dónde están dirigidos?

Car: En realidad, en el dibujo está como… ¡Claro! No están para el lado de la luz, sino para el lado de afuera. Nos quedó así porque empezamos dibujando arriba.

Profesora: Y acá dice torrente sanguíneo.

Car: Sí.

Profesora: Entonces, ¿cómo sería?

Car: Así, al revés [muestra la hoja al revés].

Profesora: Si dan vuelta la hoja, no importa para donde lo pongas, pero el intestino con sus vellosidades, ¿estarían acá adentro? [En relación con su disposición en el interior del intestino].

Car: Sí.

Profesora: Y por fuera del intestino hay vasos sanguíneos que pasan hacia las vellosidades, entonces, ¿dónde estaría la luz del intestino en el dibujo?

Car: Arriba de los enterocitos. (Fragmento de clase)

El diálogo posibilita interpretar que Car, recién al momento de explicar oralmente lo representado, percibe que la disposición espacial de las marcas pictóricas que refieren a los enterocitos se interpone con la posibilidad de distinguir la luz del intestino y, por lo tanto, de comprender que por allí circulan alimentos degradados, entre ellos la lactosa. Dicho sustrato, al entrar en contacto con la mucosa intestinal, sería degradado por la lactasa. Solo después del intercambio que permitió revisar lo figurativo, las y los estudiantes responsables de la representación comprendieron cómo se vinculan sustrato y enzima para que esta pueda ejercer su accionar sobre la lactosa.

Revisar marcas incluidas para vincularlas con la fisiología

En la representación de la Figura 2, a partir de que un estudiante intenta comprender lo que Nato y Alfri incluyeron en su producción, la docente propone una discusión sobre ciertas marcas que refieren a la constitución química de la enzima e interfieren con esclarecer su accionar. La representación mencionada está organizada en cuatro sectores. En uno, se incluyen enterocitos; otro sector refiere a la "imagen ideal de la lactasa" donde se interpreta que inscribieron marcas referidas a dos fórmulas químicas; en otro, un corte longitudinal de intestino en el que se incluyen la luz intestinal y las vellosidades; y un último sector con referencias textuales que explican cada uno de los sectores anteriores.

Figura 2[3]

Representación Nato-Alfri

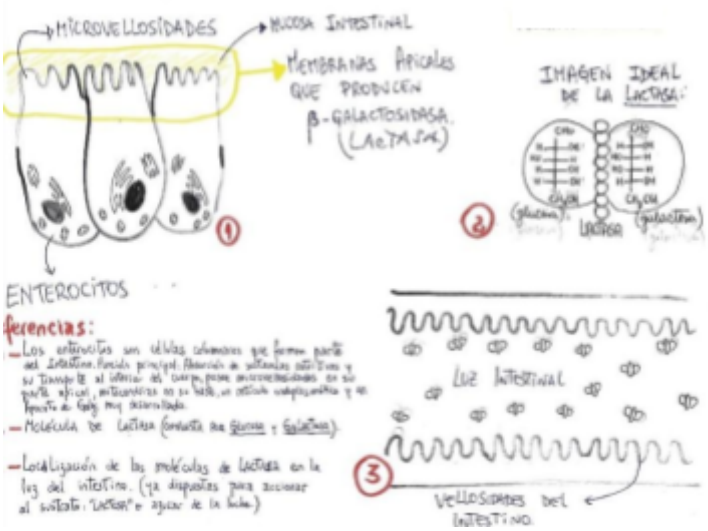


Fig. 2. En el punto indicado como 2, se inscriben las fórmulas de glucosa y galactosa bajo el título "Imagen ideal de la lactasa"

[Representación Nato-Alfri]

El intercambio oral se produce entre Fedi —estudiante ajeno a la elaboración de esta representación—, Nato —una de las autoras de esta representación— y la docente:

> Fedi: Me llamó la atención que hayan incluido la composición química que está buena, pero no entendí.
>
> Profesora: ¿Es lactasa lo que debería decir ahí?
>
> Nato: Para mí sí, tiene que decir lactasa.
>
> Profesora: ¿Lactasa?
>
> Nato: A ver, esperá. Sí, porque nosotros pusimos la lactasa y después pusimos la imagen de la molécula porque la estábamos estudiando en química…
>
> Profesora: ¡Ah! Tenían los contenidos frescos, pero lo que no entiendo es: la lactasa ¿es esa sucesión de circulitos en el medio como si fuera el cuerpo de la mariposa?
>
> Nato: No, no, lactasa es todo.
>
> Profesora: ¿Lactasa es todo?
>
> Nato: Lactasa es todo, es la unión de glucosa y galactosa. (Fragmento de clase)

Tanto para Fedi como para la docente, la fórmula allí inscripta no pertenece a la lactasa, sin embargo, Nato sostiene que la expresión química incluida está acorde a lo pensado en el momento de plasmarla al papel. Meri, otra estudiante que se incorpora al diálogo, lo interpreta de otra forma: "para mí, la lactasa estaba en el medio de la fórmula de glucosa y galactosa, separando en ese momento a los dos monosacáridos". Nato responde: "puede ser que Alfri [ausente en el intercambio oral] haya pensado así y fue lo correcto, sin

[3] Publicada en *Investigações em Ensino de Ciências*.

embargo, cuando nosotros la incluimos en la luz intestinal, hicimos las maripositas enteras y esa es la lactasa".

Lo expuesto hasta aquí permite interpretar que Nato está convencida de esa inscripción química y que Meri, como lectora de la representación, le encuentra sentido al deducir que la sucesión de bolitas centrales representa la enzima, y las fórmulas que están a ambos lados son los productos obtenidos de su acción (glucosa y galactosa). La insistencia de Nato en sostener que la expresión química completa corresponde a la enzima genera que la docente vuelva a preguntar:

Profesora: A ver, y la lactosa, químicamente, ¿qué es?

Jesu: Glucosa y galactosa.

Profesora: Está compuesta por glucosa y galactosa, o sea que es un... ¿Qué es la lactosa?

Dana: Un disacárido.

Profesora: Bien, está formada por glucosa y galactosa, ¿eso me están diciendo?

Nato: ¡Ah! ¡Entonces acá es lactosa!

Profesora: ¿Entonces qué?

Nato: Entonces esa molécula es lactosa y no lactasa. (Fragmento de clase)

Más allá de la inscripción de una molécula creyendo que se trataba de otra, se puede estimar que Nato y su compañero Alfri se encuentran al igual que otras y otros estudiantes, transitando una instancia donde hay ideas más estables que otras. En el sector 1 de la representación, indican que la lactasa es producida por las membranas apicales de los enterocitos, mientras que, en el sector 3, evidencian que la enzima funciona en la luz intestinal. Recién cuando en el grupo clase se revisa lo inscripto, Nato percibe que la etiqueta "lactasa" debería decir lactosa, es decir que, si bien se repara en la diferencia química entre la enzima y el disacárido, aún resta identificar que la enzima actúa adherida a la membrana de los enterocitos y no en la luz intestinal como representaron. El intercambio de ideas producido genera que todos los y las estudiantes del curso y no solo Nato comiencen a repensar las ideas volcadas al papel, poniendo en valor la situación de representar como herramienta que permite, a partir de lo plasmado, precisar lo conceptual.

Retomar conceptos ya estudiados que generan dudas en un nuevo contexto

Los intercambios orales producidos al analizar la representación anterior (Figura 2) también constituyeron una oportunidad para que la docente retome un concepto —degradación enzimática— estudiado anteriormente al advertir que provocaba dudas en este nuevo contexto. Al reflexionar en clase sobre la dicha representación, la docente pregunta: "¿de qué proceso hablamos cuando nos referimos a la participación es esta enzima?":

Dana: Una degradación enzimática.

Profesora: Bien, y ¿qué es degradar?

Jesu: Síntesis.

Profesora: ¿Se está sintetizando algo nuevo?

Car: No.

Fedi: Es la digestión.

Car: Absorción.

Profesora: Digestión y absorción ¿es lo mismo?

[se hace silencio]

Fedi: No, la digestión es partir, digerir, degradar.

Eris: Está simplificando.

Fedi: Y la absorción es absorber eso que se degradó.

Jesu: La absorción viene después. (Fragmento de clase)

La experiencia docente permite anticipar que algunos vocablos ofrecen dificultades. Este es el caso de "sintetizar" y de "degradar". En el fragmento transcripto, ante la primera respuesta de Dana, la docente podría haber considerado que era suficiente para cambiar de tema, sin embargo, eso no sucede y continúa preguntando. Car, que parecía tener clara la diferencia entre sintetizar y degradar, cuando la profesora pregunta por el significado de este último, responde introduciendo una nueva función: absorción. Se podría estimar que Car refiere de manera general a la función final del aparato digestivo, pero de los registros es imposible asegurar que sea así. Los silencios producidos en clase y la respuesta de Jesu ─asemejando la degradación a la síntesis─ son motivos suficientes para sostener que este diálogo permitió retomar un concepto estudiado con anterioridad. Destacamos cómo, en una nueva contextualización, aquellos y aquellas estudiantes que aún no vinculaban la acción de degradar con la digestión química puedan acceder a pensarla y diferenciarla del término sintetizar y repensar la fisiología del aparato digestivo.

Repensar ideas que cuesta asimilar

La ausencia de marcas pictóricas o referencias textuales sobre la producción de la enzima en la representación de la Figura 3 es identificada por la docente como una omisión, dado que recuerda que las autoras de esta representación (Silu y Rochi) ─en la situación inicial y durante la lectura del texto de divulgación─ aportaron ideas sobre cómo vincular el material genético con la fisiología de los sistemas. Y si bien, durante la elaboración de la representación, la docente intervino sugiriendo su inclusión, las estudiantes no inscribieron marcas al respecto.

Figura 3

Representación Silu-Rochi

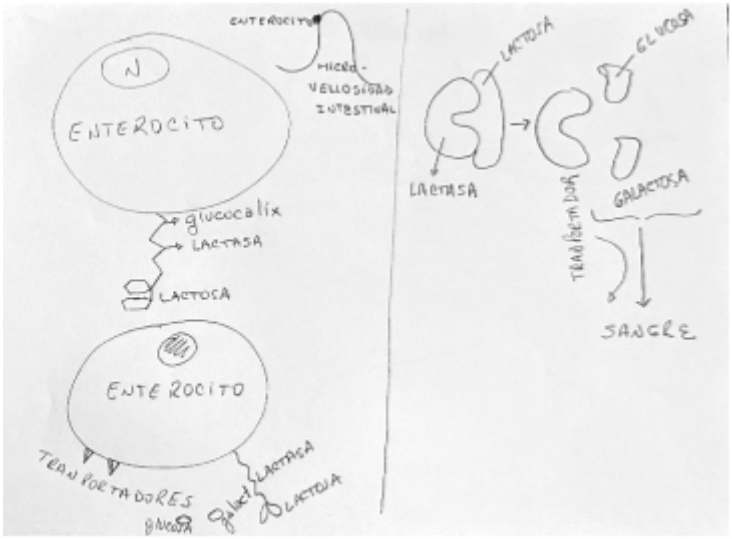


Fig. 3. Sin referencias a la producción enzimática. En la mitad izquierda de la hoja, refiere a la ubicación del enterocito en un pliegue del intestino etiquetado como microvellosidad. Debajo, un enterocito con la lactasa adherida a la lactosa.
En la mitad derecha, se amplía la acción enzimática indicando que los monosacáridos pasarían a sangre.
[Representación Silu-Rochi]

En el borde superior de la mitad izquierda de la hoja, se inscriben marcas que dan cuenta de la ubicación del enterocito en la vellosidad intestinal. En la parte central del mismo lado, se observan marcas que refieren a dicha célula, representada con un dibujo convencional de célula y vinculado a la lactasa. En el enterocito que se encuentra debajo, se muestran marcas que señalan a la lactosa unida a la lactasa y que de esta se separan los monosacáridos glucosa y galactosa que componen a la lactosa. En la mitad derecha de la hoja, se interpreta que representan la acción de la enzima ampliada e indican que los nutrientes obtenidos son acompañados por un transportador a la sangre.

A partir de las marcas incluidas y el pedido de la docente para que comenten lo representado, Silu explicita, entre otras ideas, que el enterocito "tiene un glicocálix que forma a la lactasa", mientras que Rochi aclara inmediatamente que "la enzima sólo está unida al glicocálix". En ambos argumentos, la relación entre la lactasa y el glicocálix es diferente. En el primero, se le atribuye al glicocálix la responsabilidad de producir la enzima, mientras que, en el segundo, la enzima simplemente está unida a él. Esto motiva que la docente continúe interviniendo sobre dónde se produce la lactasa. Nuevamente, ofrecen respuestas diferentes. Y, además, la respuesta de Silu difiere de la respuesta anterior. Cuando recuperamos las ideas aportadas por las alumnas durante el trabajo didáctico previo, las dos parecían tener muy claro que el funcionamiento celular se distingue por las proteínas que producen y que esa variación es regulada por el ADN. En este momento, interpretamos que a Rochi aún le es difícil desentramar la frase aportada por el texto cuando indica que "la enzima se encuentra genéticamente controlada" (Vénica *et al.*, 2011, p. 50). En cambio, Silu sí puede vincular al núcleo del enterocito con la producción de la enzima, idea que se aproxima más a lo expresado durante el trabajo con el interrogante inicial. Esto nos posibilita inferir que este espacio de intercambio sobre lo representado colabora con comenzar a asimilar una idea que se encuentra aún en el plano declarativo, que cuesta comprender y que no logró plasmarse sobre el papel.

Evidenciar aquello que no se logró plasmar sobre el papel

La representación de la Figura 4 es propuesta para su interpretación en clase por parte de la docente, dado que es la única que carece totalmente de referencias sobre el accionar de

la enzima. Tampoco cuenta con ideas sobre su producción, pero, como esa ausencia se ve reflejada en otras representaciones, sólo la primera es la que atrae su atención en este momento. Las estudiantes representaron distintos niveles de organización, comenzando por el intestino delgado, sus vellosidades, sus células, hasta llegar a la molécula lactasa en su lugar de acción.

Figura 4[4]
Representación Luchi-Rosi

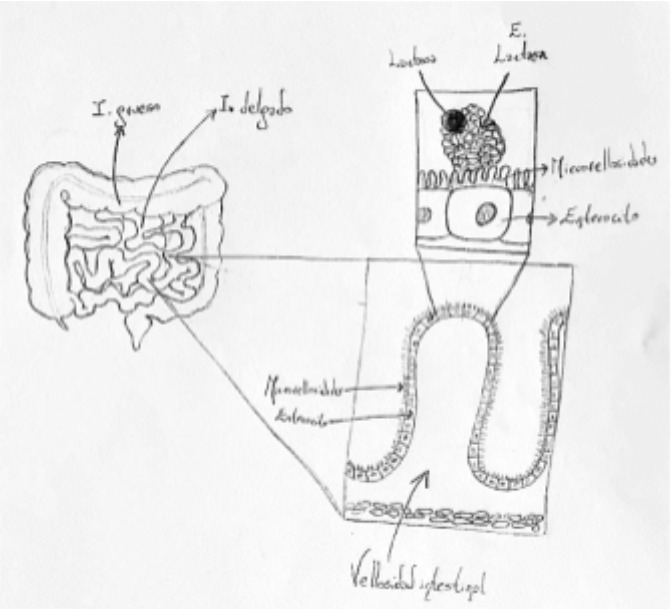


Fig. 4. En la parte superior del dibujo de la derecha, se incluyen marcas que representan a la lactasa en relación con la lactosa. Se omite representar función y producción de la enzima.
[Representación Luchi-Rosi]

La docente pretende comprender a qué se debe la omisión de alguna marca respecto al accionar de la lactasa cuando la misma es ubicada correctamente en el lugar que actúa. Por tal motivo, solicita a sus autoras la descripción de lo representado. Luchi comenta: "primero hicimos la porción del sistema digestivo que contiene las vellosidades, o sea, intestino delgado y después le hicimos los enterocitos con sus vellosidades". Con la intención de que la explicitación continúe, la docente pregunta:

> Profesora: ¿qué es esta estructura? [En referencia a lo que se encuentra por encima de los enterocitos]
>
> Luchi: Esas son las microvellosidades que tienen los enterocitos.
>
> Profesora: ¿Y la lactasa dónde actúa?
>
> Luchi: Sobre las microvellosidades.
>
> Profesora: ¿El punto rojo qué sería? [Sin color se observa como negro intenso]
>
> Luchi: Sería la lactosa.
>
> Profesora: ¿Y aquí está representada cómo se modifica la lactosa?
>
> Luchi: No, solamente dibujé el sitio activo de la enzima y la lactosa uniéndose a él.
>
> Profesora: ¿Y podemos imaginar qué pasa con esa lactosa?

[4] Publicada en *Investigações em Ensino de Ciências*.

Luchi: Se modifica. (Fragmento de clase)

En este diálogo, Eve, una estudiante ajena a la representación, completa lo preguntado por la docente: "la lactasa desdobla a la lactosa degradándose en dos monosacáridos". La docente vuelve a intervenir preguntando si alguna marca refiere a la producción de la lactasa, Luchi lo niega, agregando: "creo que en los enterocitos se desarrollaría la lactasa". El diálogo relatado no permitió dar cuenta de si las ideas de las estudiantes respecto al accionar enzimático sufrieron modificaciones entre el momento de representar y este intercambio, dado que otra estudiante respondió por las autoras de la representación. Sin embargo, cuando Luchi expresa que supone una vinculación entre enterocitos y lactasa, es posible inferir que la propuesta de trabajar con otro sistema de representación, como es la oralidad, contribuye a que las alumnas puedan continuar ampliando los conceptos propuestos en la enseñanza.

En las representaciones analizadas en clase, las y los estudiantes pueden inscribir marcas sobre el papel con las que pueden dar cuenta de: relaciones entre diferentes niveles de organización, lugar del accionar de la enzima y el papel de esta para que los nutrientes de la lactosa puedan ser aprovechados. No obstante, a la mayoría aún le cuesta concebir cómo es que se produce la enzima. Consideramos que este último interrogante incluido en la consigna funciona movilizando conocimientos sobre el aparato digestivo y sobre el accionar enzimático necesarios para explicar de dónde surgen las enzimas. Y, al mismo tiempo, se comienza a explicitar lo que no se sabe sobre la relación entre la fisiología y la genética, que constituyen el objeto de enseñanza –la síntesis de proteínas– y que se introduce luego de este análisis en clase, con la lectura de un texto expositivo del área y las respectivas explicaciones de la docente.

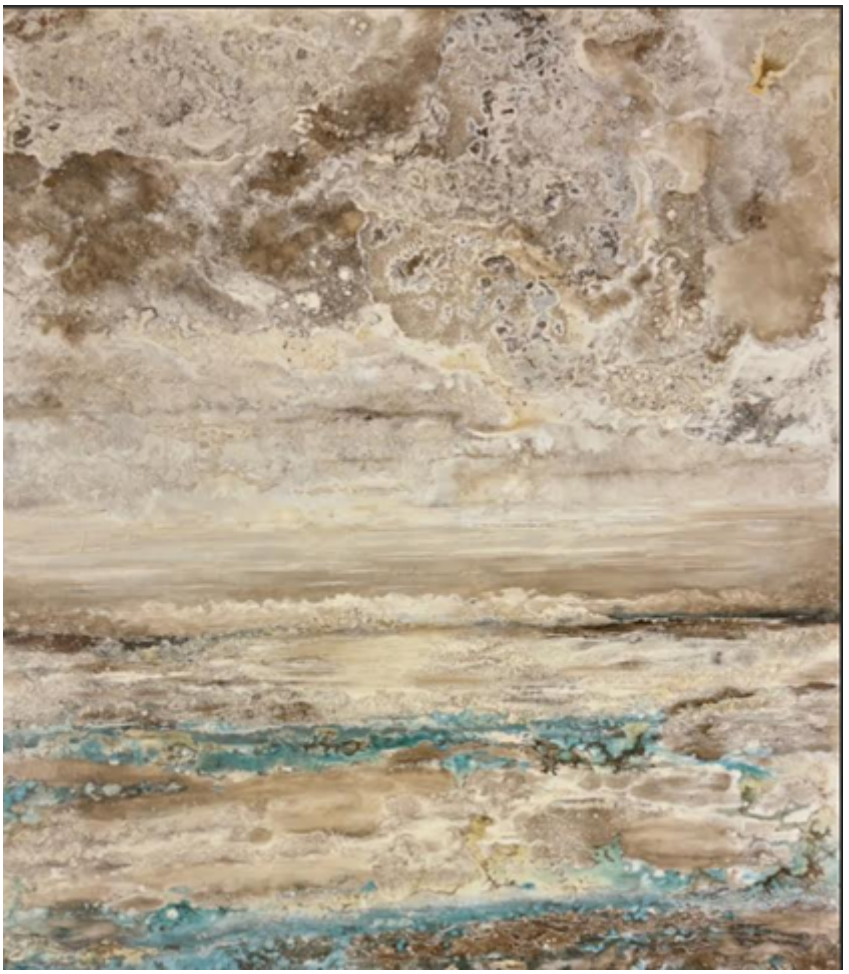
Reflexiones finales: la oralidad como oportunidad para profundizar la relación entre lo figurativo y lo conceptual

Las y los estudiantes elaboran representaciones no textuales movilizando explicaciones a partir de sus conocimientos, ello posibilita reflexionar sobre las marcas incluidas y aquello que se excluye del papel, revisar y actualizar conceptos, e imaginar cómo vincular la genética con la fisiología. El intercambio oral surgido en clase al analizar las representaciones permitió que alumnas y alumnos expusieran los significados de sus marcas al grupo clase, los ampliaran y comenzaran a vislumbrar la existencia de una interrelación entre *lo figurativo* y *lo conceptual*. El análisis en clase de las representaciones no textuales puso de manifiesto que, lejos de ser una mera transcripción de representaciones internas, existe entre ellas un interjuego, que, para interpretar lo plasmado sobre el papel, se requiere de intervención docente para que sus autores las expandan y las comuniquen oralmente. Esta corroboración contribuye al avance sobre un núcleo de preguntas acerca de la relación producida entre diferentes sistemas de representación externa (Grilli *et al.*, 2015), en este caso, entre lo pictórico y la oralidad.

Consideramos que alumnas y alumnos comienzan a entender que la simple observación de lo representado no asegura su adecuada interpretación; esto es, que las representaciones no "hablan" por sí solas, y que, para ello, es necesario conocer los significados involucrados con la explicación del referente. Y, además, que los intercambios orales sobre lo plasmado en el papel ofrecen un espacio más para revisar ideas y discutirlas, lo que colabora con la explicitación de dudas genuinas sobre el objeto de estudio, y que se geste la necesidad legítima de leer un texto científico para solventarlas (Espinoza *et al.*, 2010). Representar y analizar lo representado pretendió enseñar cómo se vincula la fisiología y el material genético, como así también que las y los estudiantes se aproximen al uso de las herramientas representacionales.

Por todo lo expuesto, sostenemos la importancia de analizar las intervenciones de la docente. Y, si bien entendemos que estas intervenciones se encuentran condicionadas por el contenido específico, contar con un repertorio de intervenciones posibles viabiliza una mejor gestión de la clase y una más ajustada contribución al aprendizaje.

Agradecimientos: al equipo de investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales inscripto en Instituto de Investigaciones CeFIEC (Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, integrado por Ana Espinoza, Adriana Casamajor, Cecilia Acevedo, Silvina Muzzanti, Patricia Luppi, Facundo Dyszel, Pablo Abad y la primera autora.



Entre el cielo y el mar, pintura asfáltica y acrílicos. **Rosa Leher**

Referencias bibliográficas

Acevedo, L. C., Casamajor, A. y Espinoza, A. (2021) La elaboración de representaciones modélicas para aprender ciencias naturales. *Revista del IICE*, *50*, 187-206. https://doi.org/10.34096/iice. n50.11274

Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné Episteme y Didaxis. TED*, *36*, 63-75. https://doi.org/10.17227/01213814.36ted63.75

Aduriz Bravo, A. e Izquierdo Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, *4*(1), 40-49. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273320452005

Aduriz Bravo, A. y Ariza, Y. (2014). Una caracterización semanticista de los modelos científicos para ciencia escolar. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, *7*(13), 25-34. https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia25.34

Ageitos Prego, N. y Puig, B. (2016). Modelizar la expresión de los genes para el aprendizaje de enfermedades genéticas en secundaria. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, *18*(1), 65-84. https://doi.org/10.1590/1983-21172016180104

Artigue, M. (2002). Ingénierie didactique: quel rôle dans la recherche didactique aujourd'hui? *Les dossiers des sciences de l'éducation. Didactique des disciplines scientifiques et technologiques: concepts et méthodes*, *8*, 59-72. http://www.persee.fr/doc/dsedu_1296-2104_2002_num_8_1_1010

Bovet, M. (1998). Explicaciones y cambios en adultos. En M. Moreno, G. Sastre, M. Bovet, M. y Leal. A., *Conocimiento y cambio. Los modelos organizadores en la construcción del* conocimiento (pp. 253-283). Paidós.

Castronuovo, S. (2021). *Las representaciones modélicas para aprender síntesis de proteínas en la formación de profesores de biología* [tesis de maestría]. Repositorio Digital Institucional, Universidad Nacional del Comahue. http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/16742

Castronuovo, S. B. y Acevedo, C. L. (2022). Aprender sobre síntesis de proteínas: la lógica de los estudiantes al representar modélicamente. *Investigações em Ensino de Ciências*, *27*(1), 415-434. http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n1p415

Diaz Guevara, C., Garay Garay, F., Acosta Paz, J. y Adúriz-Bravo, A. (2019). Los modelos y la modelización científica y sus aportes a la enseñanza de la periodicidad química en la formación inicial del profesorado. *Didacticae: Revista de Investigación en Didácticas Específicas*, *5*, 7-25. http://hdl.handle.net/11336/150960

Duncan, R. y Reiser, B. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research Science Teaching*, *44*, 938-959.

Espinoza, A., Casamajor, A. y Muzzanti, S. (septiembre de 2010). Relaciones entre la lectura, las representaciones sobre papel y el aprendizaje de las ciencias. *Jornadas Nacionales Cátedra UNESCO de Lectura y Escritura Lectura, escritura y aprendizaje disciplinar*. Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Río Cuarto. https://www.unrc.edu.ar/unrc/digital/libro_jornadas_unesco_unrc_2010.pdf

Espinoza, A., Casamajor, A., Muzzanti, S., Acevedo, C. y Lifschitz, C. (2012). Las ciencias naturales en el aula. Cuando los alumnos son convocados a representar sus ideas. *Novedades Educativas*, *256*, 36-43.

Flores Camacho, F., García-Rivera, B., Báez Islas, A., Gallegos-Cazares, L. y Calderón- Canales, E. (2020). Logros en la comprensión de temas de genética utilizando representaciones externas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *17*(3), 3101-1- 3101-18. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc. 2020v17.i3.3101

Giere, R. (2004). How Models Are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*, *71*, 742–752.

Gilbert, J. y Osborne, R. (1980). The use of models in science and science teaching. *European Journal of Science Education*, *2*(1), 3-13.

Gómez Galindo, A. (2013). Explicaciones narrativas integradas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, *31*(1), 11-28. https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.733

Grilli, J., Laxague, M. y Barboza, L. (2015). Dibujo, fotografía y Biología. Construir ciencia con y a partir de la imagen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *12*(1), 91-108. http://repositorio.cfe.edu.uy/handle/123456789/402

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, *24*(2), 173-184. https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/75824/96328

Lombardi, G., Caballero, C. y Moreira, M. A. (2009). El concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. *Revista de Investigación*, *66*, 147-186. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142009000100008&lng=es&tlng=es

Lozano, E., Adúriz-Bravo, A. y Bahamonde, N. (2020). Un Proceso de Modelización de la Membrana Celular en la Formación del Profesorado en Biología en la Universidad. *Ciência & Educação*, *26*, 1-15. https://doi.org/10.1590/1516-731320200027

Luppi, P., Acevedo, C. y Casamajor, A. (2018). Las concepciones infantiles sobre fuerza en escenarios didácticos. *Quinto Encuentro de Investigadores en Desarrollo y Aprendizaje, Instituto Rosario de Investigaciones en Ciencias de la Educación. Rosario.* Universidad Nacional de Rosario.

Martí, E. (2003). *Representar el mundo externamente. La adquisición infantil de los sistemas externos de representación.* Machado Libros.

Martí, E. (2012). Cognición y semiosis. En M. Carretero y J. Castorina (Comps), *Desarrollo cognitivo y educación [II]. Procesos del conocimiento y contenidos específicos*. Paidós.

Mazo Cano, J. y Bonilla Pérez, G. (2021). El uso de representaciones múltiples en clases de Ciencias Naturales para fortalecer la competencia argumentativa. *South Florida Journal of Development, 2(*3), 4643-4651. https://southfloridapublishing.

Megías, M., Molist, P. y Pombal, M. (2017). *Atlas de histología vegetal y animal*. Dpto. de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo. https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/v-meristemos.pdf

Moya, C. y Idoyaga, I. (septiembre de 2021). Enseñar ciencias naturales con representaciones gráficas. Una propuesta para la formación docente continua. Memorias del *V Congreso Latinoamericano de Investigación en Didáctica de las Ciencias. Bio-grafía. Escritos sobre Biología y su enseñanza* https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/14846

Occelli, M. y Pomar, S. (mayo de 2019). Modelizando síntesis de proteínas en la escuela secundaria con las TIC: una propuesta a partir de "la resistencia al VIH". *V Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*. Universidad Nacional de La Plata, Ensenada. http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.11946/ev.11946.pdf

Passmore, C., Svoboda Gouvea, J. y Giere, R. (2014). Models in Science and in Learning Science: Focusing Scientific Practice on Sense-making. En M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1171-1202). Springer Science.

Roni, C. y Carlino, P. (2018). Viejas y nuevas TIC para aprender biología molecular. En M. Occelli, L. García, N. Valeiras y M, Quintanilla, *Las tecnologías de la información y la comunicación como herramientas mediadoras de los procesos educativos. Recursos y Experiencias* (pp. 36-59). https://www.aacademica.org/paula.carlino/239

Sadava, D., Heller, G., Orians, G. Purves, W. y Hillis, D. (2009). *Vida: La Ciencia de Biología.* Ed. Médica Panamericana.

Salsa, A. y Peralta, O. (2010). La influencia cognitiva, cultural y educativa de las representaciones externas. *Revista IRICE*, *21*, 7-12. https://doi.org/10.35305/revistairice.v21i21.503

Southard, K., Wince, T., Meddleton, S. y Bolger, M. (2016). Features of Knowledge Building in Biology: Understanding Undergraduate Students' Ideas about Molecular Mechanisms. *CBE Life Sciencies Education*, *15*, 7-15. https://doi.org/10.1187/cbe.15-05-0114

Tocoian, A. (2006). *Patrón genético de la hipolactasia de tipo adulto en los niños y adolescentes de Galicia.* Universidad de Santiago de Compostela. https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2264/9788497508186_content.pdf;jsessionid=5918C9C78E6908BB03E7D17B17D2B054?sequence=1

Van Mil, M., Boerwinkel, D. y Waarlo, A. (2013). Modelling Molecular Mechanisms: A Framework of Scientific Reasoning to Construct Molecular-Level Explanations for Cellular Behaviour. *Science y Education*, *22*, 93-118. https://www.researchgate.net/publication/226907759

Vénica, C., Perotti, M., Wolf, I., Bergamini, C. y Zalazar, C. (2011). Intolerancia a la lactosa. Productos lácteos modificados. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, *65*, 50-55. https://www.researchgate.net/publication/281589062_Intolerancia_a_la_lactosa_Productos_lacteos_modificados

Vosniadou, S. (2013). Model based reasoning and the learning of counter-intuitive science concepts, *Infancia y Aprendizaje*, *36*(1), 5-33. https://doi.org/10.1174/021037013804826519